



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

*Northeast Geosciences Journal*

v. 12, nº 1 (2026)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2026v12n1ID40279>



## Avaliação da qualidade geométrica de nuvens de pontos geradas por smartphone

### *Evaluation of the geometric quality of point clouds generated by smartphones*

Victor Lachini Cola<sup>1</sup>; Laura Coelho de Andrade<sup>2</sup>; Nilcilene das Graças Medeiros<sup>3</sup>; Afonso de Paula dos Santos<sup>4</sup>; William Rodrigo Dal Poz<sup>5</sup>; Italo Oliveira Ferreira<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa/MG, Brasil. Email: victor.lachini@hotmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7761-3193>

<sup>2</sup> Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa/MG, Brasil. Email: laura.andrade@ufv.br  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3693-2208>

<sup>3</sup> Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa/MG, Brasil. Email: nilcilene.medeiros@ufv.br  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0839-3729>

<sup>4</sup> Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa/MG, Brasil. Email: afonso.santos@ufv.br  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7248-4524>

<sup>5</sup> Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa/MG, Brasil. Email: william.dalpoz@ufv.br  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9532-3643>

<sup>6</sup> Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa/MG, Brasil. Email: italo.ferreira@ufv.br  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4243-8225>

**Resumo:** A modelagem 3D é uma ferramenta amplamente utilizada para análise de dados tridimensionais, oferecendo melhor precisão e detalhamento dos objetos estudados. Entre as tecnologias empregadas, o LiDAR (Light Detection and Ranging) destaca-se por sua capacidade de gerar nuvens de pontos de melhor qualidade por meio de varredura a laser. Com o avanço tecnológico, smartphones equipados com sensores LiDAR, como o Apple iPhone 14 Pro, oferecem maior flexibilidade e produtividade em comparação aos equipamentos tradicionais. Assim, a presente pesquisa avaliou a qualidade geométrica das nuvens de pontos 3D geradas pelo sensor LiDAR do smartphone e por fotogrametria de curta distância. O estudo de caso foi a fachada do Laboratório de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, no campus da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa – MG. As medições obtidas com uma Estação Total foram usadas como referência para a análise da qualidade geométrica. Os resultados indicaram que, para objetos de pequenas dimensões, a fotogrametria de curta distância apresentou melhor desempenho em termos de definição geométrica. Por outro lado, para áreas maiores, como a fachada de um prédio, o sistema LiDAR mostrou superioridade na qualidade geométrica das nuvens de pontos geradas. Este trabalho demonstra que a escolha da tecnologia mais adequada depende do tamanho e das características do objeto analisado, ressaltando o potencial de smartphones equipados com sensores LiDAR para aplicações específicas na obtenção de dados tridimensionais.

**Palavras-chave:** Modelagem 3D; LiDAR; Fotogrametria; Qualidade Geométrica.

**Abstract:** 3D modeling is a widely used tool for the analysis of three-dimensional data, offering greater accuracy and detail of the objects studied. Among the technologies employed, LiDAR (Light Detection and Ranging) stands out for its ability to generate higher-quality point clouds through laser scanning. With technological advances, smartphones equipped with LiDAR sensors, such as the Apple iPhone 14 Pro, provide greater flexibility and productivity compared to traditional equipment. Thus, this study evaluated the geometric quality of 3D point clouds generated by the smartphone's LiDAR sensor and by close-range photogrammetry. The case study focused on the façade of the Surveying and Cartographic Engineering Laboratory, located on the campus of the Federal University of Viçosa, in Viçosa – MG, Brazil. Measurements obtained with a Total Station were used as reference for the geometric quality analysis. The results indicated that, for small objects, close-range photogrammetry showed better performance in terms of geometric definition. On the other hand, for larger areas, such as a building façade, the LiDAR system demonstrated superiority in the geometric quality of the generated point clouds. This study shows that the choice of the most suitable technology depends on the size and characteristics of the analyzed object, highlighting the potential of smartphones equipped with LiDAR sensors for specific applications in three-dimensional data acquisition.

**Keywords:** 3D Modeling; LiDAR; Photogrammetry; Geometric Quality.

Recebido: 22/05/2025; Aceito: 10/04/2026; Publicado: 24/04/2026.

## 1. Introdução

Nos últimos anos, a utilização de dispositivos móveis, como smartphones e tablets, tem se tornado cada vez mais comum e acessível. Em alguns desses dispositivos tem-se disponível sensores capazes de capturar informações tridimensionais do ambiente, com fonte Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* - Amplificação de luz por emissão estimulada de radiação), resultando na geração de nuvens de pontos 3D.

Informações tridimensionais podem ser obtidas de várias formas, através de levantamentos topográficos ou com uso de outras técnicas indiretas de coleta de dados, tais como por fotogrametria e LiDAR (*Light Detection And Ranging* - Laser escaner aéreo). Tais informações constituem nuvens de pontos tridimensionais que são a base para a geração de uma modelagem tridimensional (BECKER; CENTENO, 2013, p. 652). Vale destacar também o trabalho desenvolvido por Silva et al. (2024, p.285), onde os autores avaliaram a qualidade e precisão de dados de laser scanner terrestre (LST) em uma área plana da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG. A pesquisa mais recente de Sawandi et al. (2026) considerou o potencial dos smartphones como dispositivos de mapeamento 3D, aplicado ao planejamento participativo e na produção de dados espaciais localizados, com foco em dois tipos principais de sensores, a saber, o LiDAR e câmeras RGB padrão, onde os autores avaliaram o desempenho na geração de modelos 3D. Levando em conta ainda o estado da arte vale destacar a pesquisa de Tomczak et al. (2026) onde os autores realizaram a estimativa do volume de madeira empilhada usando o fator de conversão dinâmico, calculado por um aplicativo de smartphone baseado em LiDAR.

Os modelos tridimensionais fornecem informações espaciais de grande importância para a modelagem e análise da superfície terrestre. Esses são considerados insumos essenciais para a obtenção de informações de distâncias, áreas e volumes, dentre outras aplicações (MICELI, 2011, p.192).

Estudos com iPhones que incluem um sensor LiDAR, tal como o desenvolvido por Luetzenburg et al. (2021, p.2) levaram em conta uma série de experimentos para avaliar o desempenho do iPhone 12 Pro para aplicações de engenharia. Os autores utilizaram o iPhone para medir vários objetos, incluindo árvores, edifícios e terrenos, realizando a comparação dos resultados com os obtidos com outros sistemas LiDAR. Assim, descobriram que o iPhone foi capaz de fornecer medições acuradas para estes objetos, com uma acurácia entre 0,5-1,5 cm. O iPhone teve um desempenho particularmente bom ao medir superfícies planas e objetos com características claras, tais como edifícios. No entanto, teve um desempenho inferior quando mediu objetos com formas complexas ou superfícies rugosas, levando-se em conta rochas e terrenos (SULEYMANOGLU, 2023, p.351). Além disso, Gonçalves e Albarici (2025, p. 1261) avaliaram a precisão de nuvens de pontos gerados por *smartphones* com a tecnologia LiDAR incorporada e concluíram que estes dispositivos com essa configuração são capazes de produzir modelos digitais de terreno com precisão suficiente para aplicações na maioria dos trabalhos de engenharia e geociências, fornecendo uma alternativa acessível e conveniente em relação aos levantamentos com *laser scanner* topográfico. Em termos ainda de estado da arte e pesquisa internacional vale destacar a publicação de Janicka E Błaszczak-Bąk (2025, p.18), onde os autores realizaram testes comparativos do LIDAR embarcado com smartphones e em comparação com dados LST, obtendo-se diferenças na casa de centímetros.

Diferentemente do caso da tecnologia consolidada LiDAR, que utiliza sensores inerciais de alta qualidade embarcados em plataformas aéreas, a influência na qualidade geométrica das nuvens de pontos geradas por sensores inerciais acoplados em smartphones é um aspecto pouco explorado até o presente momento. A captura de dados por meio desses dispositivos apresenta limitações, destacando a importância de avaliar não apenas o sensor inercial, mas também outros fatores que possam influenciar a qualidade geométrica das nuvens de pontos geradas e seus respectivos produtos.

Os smartphones fornecem também a oportunidade de capturar fotografias de qualquer objeto, a qualquer momento e de forma instantânea, possibilitando sua utilização no domínio da fotogrametria digital (FAWZY, 2015, p.77). A modelagem tridimensional a partir de várias fotografias tomadas por visadas com ângulos diversos de objetos próximos ao sensor é um ramo da fotogrametria a curta distância que desempenha um papel fundamental na coleta e armazenamento de dados e geração de produtos, como modelos tridimensionais.

Com o constante aprimoramento dos componentes físicos (*hardware*) e o contínuo desenvolvimento de sistemas robustos de câmeras que os integram (GOMES, 2021, p.3), uma nova forma de obtenção de dados tem surgido. Esses dispositivos estão cada vez mais avançados, possibilitando uma coleta mais eficiente e precisa de informações 3D.

Através do Controle de Qualidade Cartográfica, são analisados aspectos como a precisão geométrica, a integridade topológica, e a consistência dos modelos 3D obtidos por meio dos smartphones. Em suma, o Controle da Qualidade Cartográfica desempenha um papel na avaliação e melhoria da qualidade dos produtos gerados pelas técnicas de modelagem 3D disponíveis a partir do uso de smartphones.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo consiste em verificar a qualidade geométrica das nuvens de pontos 3D geradas com o dispositivo Apple Iphone 14 Pro (APPLE, 2023), para a realização de tarefas de modelagem 3D. Ademais, a pesquisa

também identifica as possíveis limitações do sensor LiDAR do Iphone 14 Pro, avaliando a qualidade geométrica das nuvens de pontos e superfícies.

## 2. Metodologia

### 2.1 Área de estudo e Materiais

Experimentos iniciais foram realizados com objetos geométricos de pequenas dimensões, num contexto mais controlado, a fim de avaliar o desempenho do sensor inercial na geração da nuvem de pontos 3D, em comparação a nuvem de pontos 3D gerada a partir do princípio de estereoscopia, por fotogrametria a curta distância.

Após os experimentos iniciais, selecionou-se uma área de estudo num ambiente com proporções geométricas maiores, visando analisar o potencial de duas abordagens: nuvem de pontos 3D por sensor inercial e nuvem de pontos 3D por estereoscopia. O experimento ocorreu no campus da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa – MG. A área de estudo foi a fachada do Laboratório de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica – LEA, conforme mostrado na Figura 1.



*Figura 1 – Fachada do LEA.*

*Fonte: Autores (2026).*

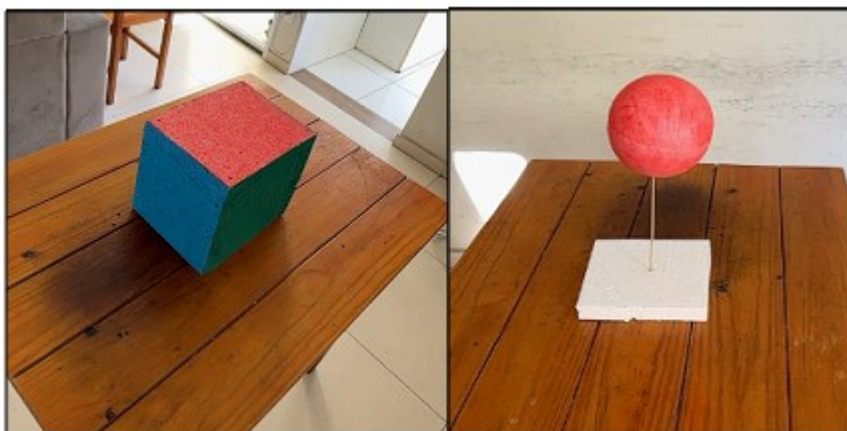
A fachada foi definida como a área de estudo devido ao seu fácil acesso e por simular trabalhos comuns no campo da cartografia, como o cadastro urbano de residências. Foram selecionados pontos estratégicos na fachada para realizar medições com o uso da estação total. Além disso, os objetos presentes na fachada, como janelas e portas, foram utilizados como referência e também foram medidos com a estação total devido à sua fácil visualização e formas regulares. Essa abordagem permitiu obter dados bem definidos e representativos para a análise e avaliação.

Destaca-se que foi empregado o Iphone 14 Pro, equipado com câmera de alta resolução (2x de 12MP e 48MP, 48mm e 24mm, abertura  $f/1.78$ , estabilização óptica de imagem por deslocamento de sensor e lente de sete elementos) e sensor LiDAR (APPLE, 2023). Ademais foi utilizada a estação total Geodetic GD2i-8 (CPE, 2023) para obtenção das medidas de distância e ângulo entre os pontos de referência e o Paquímetro Digiital ZAAS para aquisição das medidas dos objetos de menor porte, para posterior comparação com as medidas obtidas através do LiDAR e por fotogrametria a curta distância.

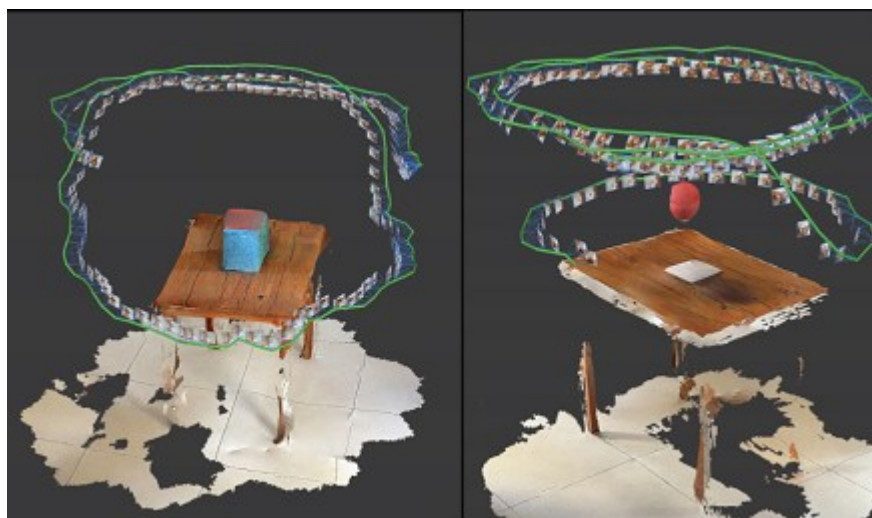
### 2.2 Métodos

Em um primeiro momento, foi realizado o experimento com os objetos de pequeno porte com diferentes formas e cores

(Figura 2). Tais elementos foram escaneados com o LiDAR e foram adquiridas fotografias de vários ângulos de visada distintos dos objetos geométricos (Figura 3). Sendo uma esfera de isopor de aproximadamente 15 cm em diferentes cores (Azul, Vermelho e Verde), e um cubo com faces pintadas de cores distintas. Os parâmetros que podem ser alterados incluem a confiança, que representa a quantidade de dados que chegam ao sensor, a profundidade, que indica o alcance limitado da varredura, o mascaramento, que isola o objeto predominante, e a resolução da nuvem.

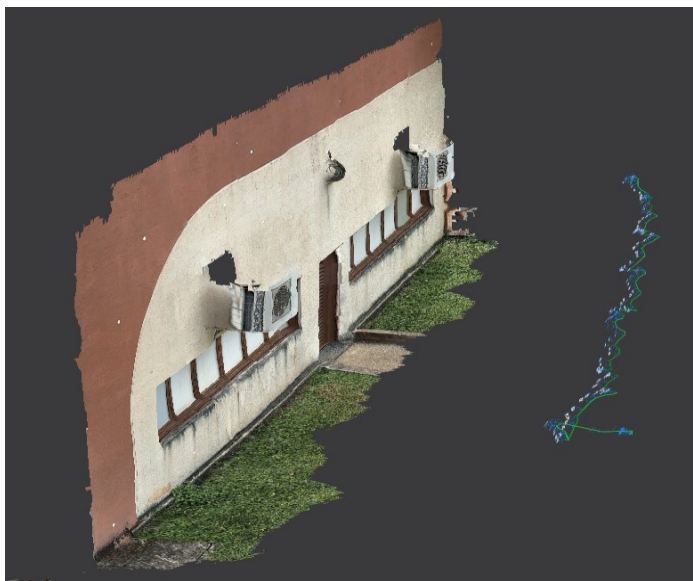


*Figura 2 – Bolas de isopor e cubo digitalizados.  
Fonte: Autores (2026).*



*Figura 3 – Trajetória iPhone 14 Pro.  
Fonte: Autores (2026).*

Após a realização do primeiro experimento com os objetos circulares e quadrangulares, foram realizados os experimentos na área de estudo, com os levantamentos da fachada do LEA a partir do iPhone e da Estação Total. Utilizou-se a estação total geodésica GD2i-8, empregando técnicas convencionais de levantamento topográfico para obter as métricas a partir dos pontos de interesse. Em seguida, procedeu-se o levantamento da fachada utilizando o iPhone 14 Pro e o aplicativo "3D Scanner App" (AI PHOTO Editor Lab, 2024, Figura 4) na função LiDAR, com os parâmetros "High confidence", "5.0 m range", "masking disabled" e "50 mm high Resolution".



*Figura 4 – Ilustração do levantamento da área de estudo com o iPhone.  
Fonte: Autores (2026).*

Por fim, efetuou-se o levantamento da fachada utilizando a técnica fotogramétrica a curta distância, a qual não requer modificações de parâmetros pelo usuário, sendo todo o processamento realizado no aplicativo na função Scan Mode, no modo Photos. O fluxograma evidenciado na Figura 5 descreve a metodologia empregada.

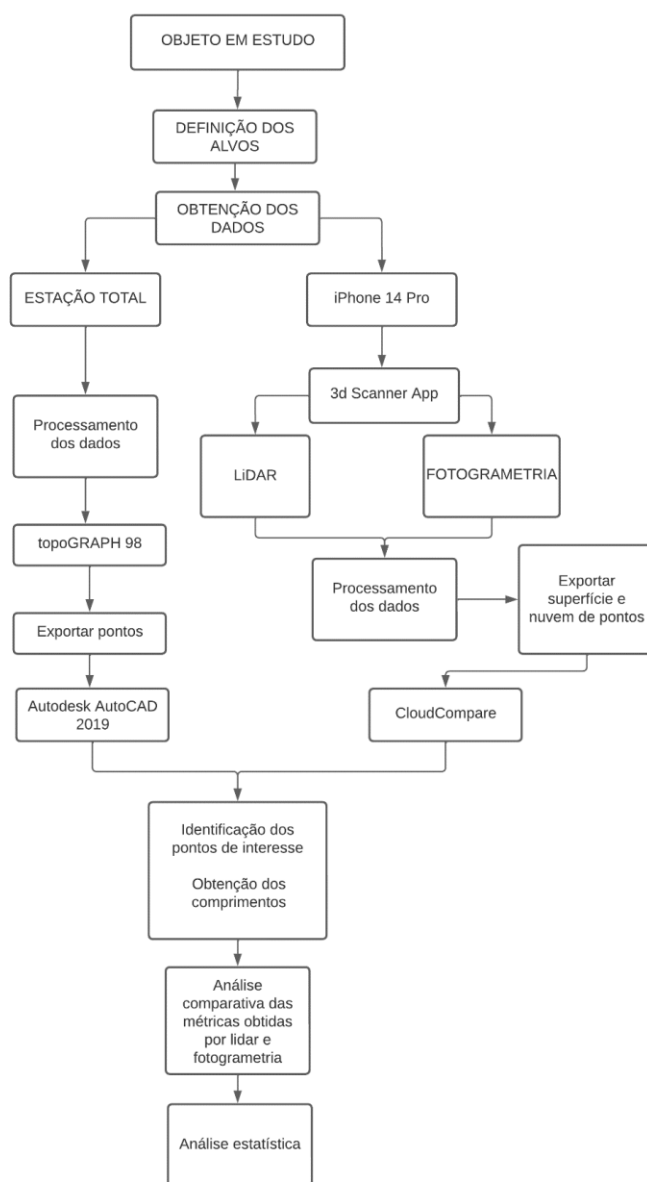


Figura 5 – Fluxograma para área de estudo.  
Fonte: Autores (2026).

Com os dados coletados, foram realizados os procedimentos. No caso dos dados de referência obtidos com a estação total, utilizou-se o software Topograph 98 para descarregar os dados do aparelho. Em seguida, ocorreu a conversão dos dados para uso no software Autodesk AutoCAD 2019, permitindo a obtenção das distâncias de interesse. No caso do primeiro experimento, os dados de referência foram obtidos utilizando um paquímetro para a esfera e um escalímetro para o cubo.

Após a coleta dos dados pelo iPhone 14 Pro, tanto o arquivo da nuvem de pontos quanto a superfície gerada pelo aplicativo foram exportados. Posteriormente, utilizando o software CloudCompare (CLOUDCOMPARE, 2023), os arquivos foram abertos, permitindo a realização das medições tanto na nuvem de pontos e também na superfície gerada. Esses procedimentos forneceram os resultados deste trabalho. Ressalta-se que o processamento fotogramétrico na geração da orientação absoluta foi realizada com dados de navegação da IMU (*Inertial Measurement Unit*). Sendo assim, os dados

coletados com Estação Total foram utilizados apenas como referência para comparação entre os dois métodos (LiDAR e a fotogrametria).

Após, foram obtidas as discrepâncias planimétricas. Para isso, calculou-se a diferença entre a medida de referência obtida com a Estação Total e as medidas obtidas pelos métodos LiDAR e fotogramétrico (Equação 1).

$$d = l_o - l_e \quad (1)$$

Onde  $l_o$  é a medida obtida através do método escolhido e  $l_e$  é a medida obtida através da estação, paquímetro ou escalímetro.

Após, foram aplicados procedimentos estatísticos para análise dos dados provenientes da área de estudo. Nesse contexto, foram utilizados estatísticas descritivas como média, desvio padrão, RMS (Root Mean Square), valor máximo e valor mínimo. Por outro lado, nos dados provenientes dos objetos escaneados, concentrou-se na avaliação do erro absoluto.

A média aritmética (Equação 2) consiste em somar todos os valores da variável e dividir pelo número de observações envolvidos na soma (CAZORLA, 2003, p.2).

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (2)$$

Onde  $x$  são os valores das variáveis e  $n$  é o número de observações.

O desvio padrão (Equação 3), é uma medida que permite avaliar o grau de dispersão dos valores da variável em relação à média. O desvio padrão  $s$  consiste em realizar a raiz quadrada da variância, onde a variância é a média dos quadrados dos desvios. (OLIVEIRA, 2011).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3)$$

Onde  $\bar{x}$  é a média da amostra e  $n$  é a quantidade de elementos amostrais.

Na análise de dados, o desvio padrão é a medida de dispersão mais comumente utilizada, especialmente em cálculos envolvendo análises descritivas. Isso ocorre porque o desvio padrão permite o uso de todos os valores da variável em questão, ao mesmo tempo que é expressa nas mesmas unidades de medida (OLIVEIRA, 2011, p. 23).

O RMS (Root Mean Square) é uma medida de precisão proposta por Gauss, em termos práticos, analisa a precisão externa dos dados, ou seja, apresenta a tendência e a dispersão da amostra em consideração aos dados mais acurados (SANTOS, 2010, p.42). Podendo ser calculado de acordo com a Equação (4):

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i)^2}{n}} \quad (4)$$

Onde o RMS representa a raiz quadrada da média dos quadrados de um conjunto de valores. Utiliza-se para quantificar a precisão de um conjunto de valores em relação a um valor de referência ou estimativa. Quanto maior o valor do RMS, menor é a acurácia dos dados.

O erro relativo (Equação 5) é expressado com a incerteza em uma medição. O erro relativo pode ser usado para expressar a imprecisão em uma medição (HELMENSTINE, 2020).

O erro é o desvio do resultado da medição em relação ao valor real da grandeza mensurável, expresso em termos absolutos ou relativos. Se  $A$  é o valor real da grandeza mensurável e  $A'$  é o resultado da medição, então a diferença entre  $A$  e  $A'$  é o erro relativo (RABINOVICH, 2006, p.13).

$$E(\%) = \left| \frac{A' - A}{A} \right| * 100 \quad (5)$$

Quanto menor o valor do erro relativo, mais próxima está a medida ou estimativa do valor verdadeiro, indicando melhor precisão ou acurácia.

### 3. Resultados e Discussão

A fim de avaliar e comparar os resultados das estratégias propostas, foram realizados dois conjuntos de medições. O primeiro conjunto consistiu em 10 medições realizadas ao longo da área de estudo, utilizando a Estação Total no modo de medição sem prisma. O segundo conjunto de medições foi realizado nos objetos apresentados (Figura 2), utilizando o paquímetro e um escalímetro. Os valores obtidos em ambos os métodos e o respectivo objeto de estudo, foram registrados e apresentados nas Tabelas 1 a 6 com as respectivas discrepâncias.

*Tabela 1 – Distâncias e Discrepâncias obtidas com o LiDAR, para área de estudo.*

LINHAS	NUVEM DE PONTOS (m)	LiDAR		DISCREPÂNCIA	
		SUPERFÍCIE GERADA (m)	ESTAÇÃO TOTAL (m)	S-E (cm)	N-E (cm)
D1	1.982	1.992	1.964	2.80	1.80
D2	1.213	1.201	1.185	1.60	2.80
D3	3.271	3.273	3.237	3.60	3.40
D4	3.208	3.196	3.237	-4.10	-2.90
D5	4.312	4.315	4.293	2.20	1.90
D6	1.007	1.021	1.000	2.10	0.70
D7	0.978	1.007	0.992	1.50	-1.40
D8	4.597	4.618	4.598	2.00	-0.10
D9	0.968	0.982	0.992	-1.00	-2.40
D10	2.093	2.102	2.106	-0.40	-1.30

*Fonte: Autores (2026).*

Tabela 2 – Distâncias e Discrepâncias obtidas com a Fotogrametria, para a área de estudo.

LINHAS	NUVEM DE PONTOS (m)	FOTOGAMETRIA		DISCREPÂNCIA	
		SUP. GERADA (m)	EST. TOTAL (m)	S-E (cm)	N-E (cm)
D1	1.821	1.822	1.964	-14.20	-14.30
D2	1.098	1.091	1.185	-9.40	-8.70
D3	2.942	2.964	3.237	-27.30	-29.50
D4	2.982	2.990	3.237	-24.70	-25.50
D5	3.973	3.982	4.293	-31.10	-32.00
D6	0.944	0.922	1.000	-7.80	-5.60
D7	0.923	0.920	0.992	-7.20	-6.90
D8	4.231	4.258	4.598	-34.00	-36.70
D9	0.914	0.914	0.992	-7.80	-7.80

Fonte: Autores (2026).

Onde S, E e N representam superfície gerada, estação total e nuvem de pontos.

Tabela 3 – Distâncias e Discrepâncias obtidas com o LiDAR, para o bloco.

	BLOCO LiDAR			DISCREPÂNCIA	
	NUVEM DE PONTOS (cm)	SUPERFÍCIE GERADA (cm)	ESCALÍMETRO (cm)	S-ES (cm)	N-ES (cm)
D1	23.021	22.710	25.400	-2.690	-2.379
D2	18.144	18.550	20.500	-1.950	-2.356
D3	21.742	21.970	22.700	-0.730	-0.958

Fonte: Autores (2026).

Tabela 4 – Distâncias e Discrepâncias obtidas com a fotogrametria, para o bloco.

	BLOCO FOTOGAMETRIA			DISCREPÂNCIA	
	NUVEM DE PONTOS (cm)	SUPERFÍCIE GERADA (cm)	ESCALÍMETRO (cm)	S-ES (cm)	N-ES (cm)
D1	24.903	25.790	25.400	0.390	-0.497
D2	20.724	21.140	20.500	0.640	0.224
D3	23.202	23.180	22.700	0.480	0.502

Fonte: Autores (2026).

Onde D1, D2 e D3 representam comprimento, largura e altura do cubo respectivamente, e ES, escalímetro.

Tabela 5 – Diâmetro e Discrepâncias obtidas com o LiDAR, para a esfera.

	ESFERA LiDAR			DISCREPÂNCIA	
	NUVEM DE PONTOS (cm)	SUPERFÍCIE GERADA (cm)	PAQUÍMETRO (cm)	S-P (cm)	N-P (cm)
DIÂMETRO	12.775	12.800	14.879	-2.079	-2.104

Fonte: Autores (2026).

Tabela 6 – Diâmetro e Discrepâncias obtidas com a fotogrametria, para a esfera.

	ESFERA FOTOGRAMETRIA			DISCREPÂNCIA	
	NUVEM DE PONTOS (cm)	SUPERFÍCIE GERADA (cm)	PAQUÍMETRO (cm)	S-P (cm)	N-P (cm)
DIÂMETRO	15.470	15.418	14.879	0.539	0.591

Fonte: Autores (2026).

Para ilustrar as discrepâncias das medidas foram confeccionados os gráficos, a seguir.

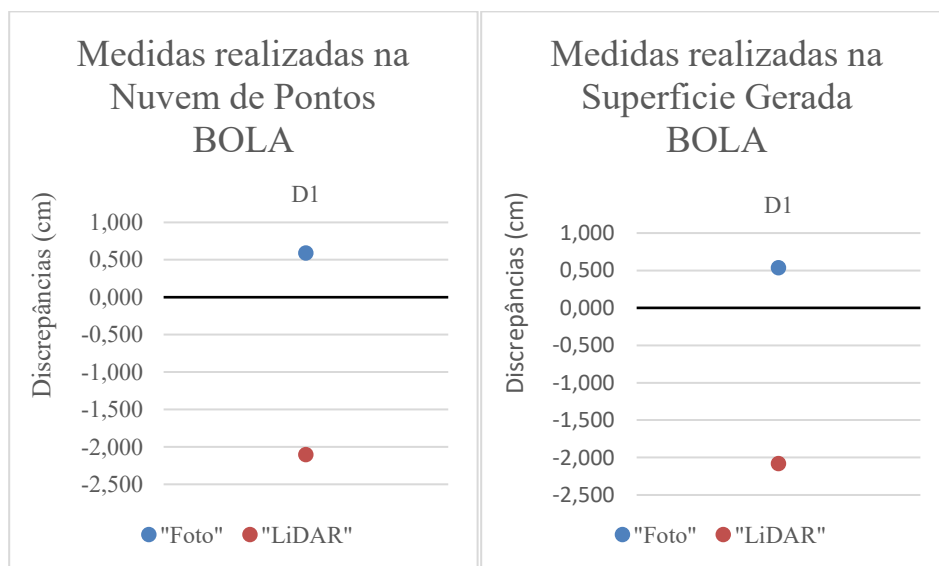


Figura 6 – Gráfico Discrepância Bola.

Fonte: Autores (2026).

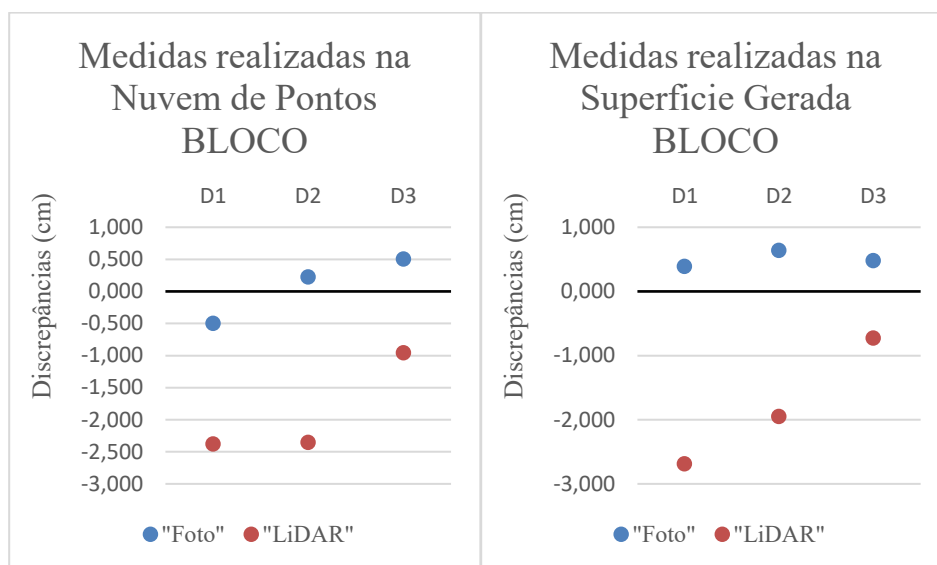


Figura 7 – Gráfico Discrepância Cubo.  
Fonte: Autores (2026).

A partir da Figura 6 e 7, nota-se que as medidas realizadas na superfície gerada através do método fotogramétrico apresentam maior proximidade em relação as medidas de referência.

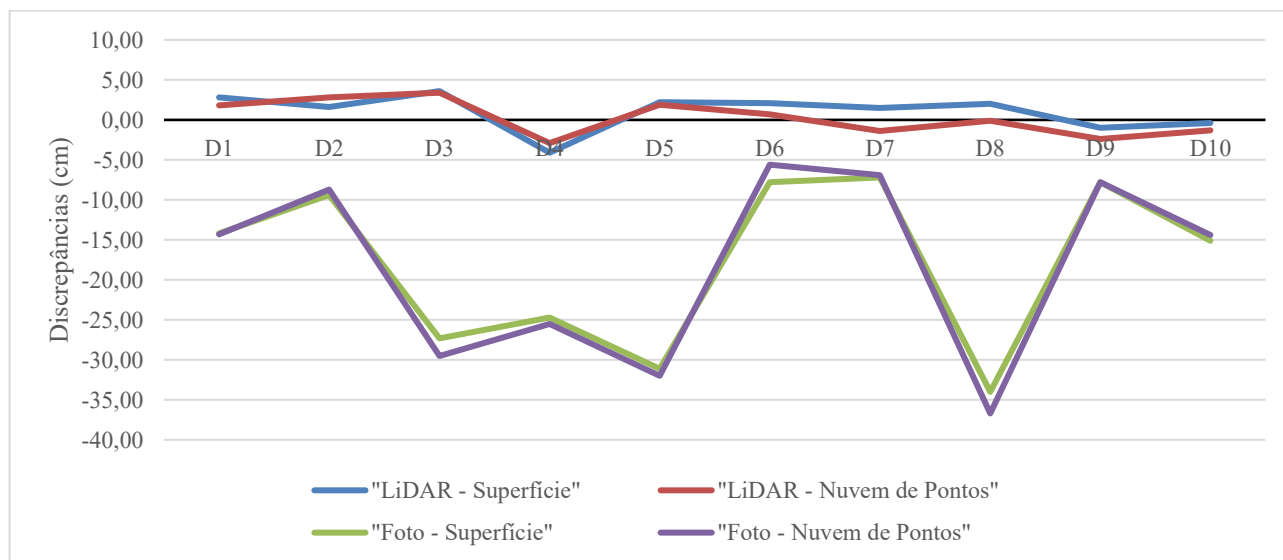


Figura 8 – Gráfico Discrepância Área de Estudo.  
Fonte: Autores (2026).

Observa-se na Figura 8, que as discrepâncias tanto na nuvem de pontos quanto na superfície gerada pelo método LiDAR apresentaram menores diferenças em relação à medida de referência. É possível notar ainda que algumas discrepâncias na nuvem de pontos são menores em comparação às da superfície gerada pelo mesmo método, o que indica que as medidas realizadas na nuvem de pontos do sistema LiDAR são as que mais se aproximam da referência.

Após o cálculo das discrepâncias, os cálculos estatísticos foram realizados e os resultados apresentados nas tabelas 7 a 11.

*Tabela 7 – Erro percentual na esfera.*

DIÂMETRO	LiDAR		FOTO	
	NUVEM DE PONTO	SUPERFICIE GERADA	NUVEM DE PONTO	SUPERFICIE GERADA
D1	14.14%	13.97%	3.97%	3.62%

*Fonte: Autores (2026).**Tabela 8 – Erro percentual no Bloco.*

DISTÂNCIA	LiDAR		FOTO	
	NUVEM DE PONTO	SUPERFICIE GERADA	NUVEM DE PONTO	SUPERFICIE GERADA
D1	9.37%	10.59%	1.96%	1.54%
D2	11.49%	9.51%	1.09%	3.12%
D3	4.22%	3.22%	2.21%	2.11%

*Fonte: Autores (2026).**Tabela 9 – Erro percentual fachada.*

DISTÂNCIA	LiDAR		FOTO	
	NUVEM DE PONTO	SUPERFICIE GERADA	NUVEM DE PONTO	SUPERFICIE GERADA
D1	0.92%	1.43%	7.28%	7.23%
D2	2.36%	1.35%	7.34%	7.93%
D3	1.05%	1.11%	9.11%	8.43%
D4	0.90%	1.27%	7.88%	7.63%
D5	0.44%	0.51%	7.45%	7.24%
D6	0.70%	2.10%	5.60%	7.80%
D7	1.41%	1.51%	6.96%	7.26%
D8	0.02%	0.43%	7.98%	7.39%
D9	2.42%	1.01%	7.86%	7.86%
D10	0.62%	0.19%	6.84%	7.17%

*Fonte: Autores (2026).*

Tabela 10 – Estatística cubo.

	LiDAR		FOTO	
	NUVEM DE PONTO (cm)	SUPERFICIE GERADA (cm)	NUVEM DE PONTO (cm)	SUPERFICIE GERADA (cm)
Média	-1.898	-1.790	0.076	0.503
Desvio Padrão	0.814	0.990	0.516	0.127
RMS	2.011	1.964	0.428	0.514
Maximo	-0.958	-0.730	0.502	0.640
Minimo	-2.379	-2.690	-0.497	0.390

Fonte: Autores (2026).

Tabela 11 – Estatística fachada.

	LiDAR		FOTO	
	NUVEM DE PONTO (cm)	SUPERFICIE GERADA (cm)	NUVEM DE PONTO (cm)	SUPERFICIE GERADA (cm)
Média	0.250	1.030	-18.140	-17.860
Desvio Padrão	2.210	2.270	11.680	10.440
RMS	2.110	2.380	21.260	20.420
Maximo	3.400	3.600	-5.600	-7.200
Minimo	-2.900	-4.100	-36.700	-34.000

Fonte: Autores (2026).

Após a apresentação dos resultados obtidos, observa-se que o método fotogramétrico é mais adequado quando os objetos da cena a ser escaneada possui pequenas dimensões, ou seja, o sensor encontra-se mais próximo dos objetos, além do maior recobrimento do objeto com muitas visadas em perspectivas diferentes, possibilitando maior nível de detalhes, pela geometria estabelecida. Isso é evidenciado pelos valores de desvio padrão, RMS e discrepâncias apresentados nas Tabelas 10 e 12. Tanto a nuvem de pontos quanto a superfície gerada mostraram desempenho satisfatório, porém a superfície obteve melhores resultados em relação à nuvem de pontos. Portanto, recomenda-se o uso desse método para trabalhos onde os objetos possuem menores proporções métricas e estejam mais próximos da câmara.

Por outro lado, quando a cena a ser escaneada é maior, como é o caso da área de estudo deste trabalho, o método mais eficaz é o uso do sensor LiDAR. Isso é evidenciado pelos valores de desvio padrão, RMS e discrepâncias apresentados nas Tabelas 03, 04 e 13. Para levantamentos nesse contexto, é recomendado o uso do sensor LiDAR com os parâmetros indicados na Tabela 02 e a realização das medições de interesse na nuvem de pontos gerada.

Ao analisar os resultados, em específico o RMS, é possível notar que as medidas obtidas através do sistema LiDAR se saíram, em média, 08 vezes melhor que as medidas fotogramétricas quando realizadas na superfície gerada pelo método, e, em média, 10 vezes melhor quando realizadas na nuvem de pontos.

No entanto, quando se trata das medidas em objetos menores, o método fotogramétrico a curta distância se sai melhor, sendo, em média, 4 vezes melhor que o método LiDAR.

#### 4. Conclusões

No geral, os dados obtidos com o iPhone forneceram resultados interessantes em ambos os experimentos realizados. Considerando que esse sensor é relativamente novo, é inquestionável o potencial que ele tem para melhorias.

A partir deste estudo, pode-se concluir que o critério de tamanho da cena a ser levantada é um fator influente na escolha do método a ser empregado, seguido pela forma do objeto. A metodologia utilizada mostrou-se adequada para a avaliação do iPhone 14 Pro e análise dos dados obtidos.

Quando os objetos da cena são menores e estão mais próximos do aparelho de aquisição dos dados, a técnica de fotogrametria a curta distância apresentou-se mais adequada que o escaneamento por laser. Já para objetos e ambientes maiores a ferramenta LiDAR possibilitou melhores resultados, em significativa proporção, em torno de 08 a 10 vezes melhor que a técnica de fotogrametria.

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que é possível utilizar o aparelho adotado para a coleta de dados, eliminando a necessidade de adquirir dispositivos específicos para cada ocasião. Isso demonstra claramente que o avanço tecnológico torna obsoletas algumas práticas e aparelhos utilizados em levantamentos topográficos, para certas aplicações, principalmente as que não demandam melhores precisões.

A integração das tecnologias emergentes, tais como sensores LiDAR embarcados em dispositivos móveis, fotogrametria digital, inteligência artificial e realidade aumentada, representa um caminho promissor para a evolução dos levantamentos tridimensionais. A associação entre essas abordagens tende a potencializar a geração de produtos geoespaciais de boa resolução espacial, espectral e temporal, bem como automatizar etapas de processamento e análise, ampliando as possibilidades de aplicação em campos que vão desde o monitoramento de áreas de difícil acesso e de segurança restrita até o turismo e a conservação do patrimônio. Essa convergência tecnológica permite vislumbrar um novo paradigma de aquisição e modelagem espacial, no qual soluções de baixo custo e alta eficiência tornam-se acessíveis a diferentes setores, democratizando o uso de tecnologias antes restritas a equipamentos especializados e de elevado investimento.

Para trabalhos futuros na área, recomenda-se aprofundar na análise e interpretação dos dados coletados, considerando diferentes métricas de avaliação e comparando com outras tecnologias disponíveis. Além de, investigar a viabilidade econômica e técnica de integração de métodos, como combinação de fotogrametria e LiDAR, para obter resultados mais completos e acurados.

## Referências

- AI PHOTO Editor Lab. 3D Scanner App. 2024. Disponível em: <<https://apps.apple.com/us/app/id1419913995>>. Acesso em: 30 mar. 2026.
- APPLE, iPhone 14 Pro e iPhone 14 Pro Max. Disponível em: <<https://www.apple.com/br/iphone-14-pro/>>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- BECKER, J. H.; CENTENO, J. A. S. Avaliação de métodos de filtragem de nuvem de pontos derivados do sistema laser scanner aerotransportado para obtenção de MDT. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 4, n. 65, p. 651-659, 2013.
- CAZORLA, I. M. Média aritmética: um conceito prosaico e complexo. Anais do IX Seminário de Estatística Aplicada, p. 1-14, 2003.
- CLOUDCOMPARE. Cloudcomparewiki – Introduction. Disponível em: <<https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/Introduction>>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- CPE. ESTAÇÃO TOTAL GEODETIC SÉRIE G V2. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.cpetecnologia.com.br/uploads/861fff29-022d-4637-a3c6-1166380885a1.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- DESK, N. *Here is the super cool 6 things you can do with iphone's Lidar*. Disponível em: <<https://surveyinggroup.com/here-is-the-super-cool-6-things-you-can-do-with-iphones-lidar/>>. Acesso em: 11 jun. 2023. – checar essa referência - não está no texto – se for o caso tirar
- FAWZY, H. E. The accuracy of mobile phone camera instead of high-resolution camera in digital close-range photogrammetry. *International Journal of Civil Engineering & Technology (IJCIET)*, v. 6, n. 1, p. 76-85, 2015.

- GARTNER, IT Glossary. Disponível em: <<http://www.gartner.com/itglossary/smartphotne>>. Acesso em: 13 jun 2023. - não está no texto – se for o caso - tirar
- GOMES, D. et al. Aplicação do fotorrealismo preciso de pequenos monumentos utilizando Fotogrametria Digital a curta distância com câmera de smartphone. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 1, n. 3, 2021.
- GONÇALVES, E. M.; ALBARICI, F. L. Avaliação da Acurácia Posicional de Sensor LiDAR Incorporado em Smartphones. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 18, n. 02, p. 1247-1262, 2025. [https://www.researchgate.net/profile/Fabio-Albarici/publication/389097672\\_Avaliacao\\_da\\_Acuracia\\_Posicional\\_de\\_Sensor\\_LiDAR\\_Incorporado\\_em\\_Smartphones/links/67b4e790207c0c20fa8d5387/Avaliacao-da-Acuracia-Posicional-de-Sensor-LiDAR-Incorporado-em-Smartphones.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Fabio-Albarici/publication/389097672_Avaliacao_da_Acuracia_Posicional_de_Sensor_LiDAR_Incorporado_em_Smartphones/links/67b4e790207c0c20fa8d5387/Avaliacao-da-Acuracia-Posicional-de-Sensor-LiDAR-Incorporado-em-Smartphones.pdf)
- HELMENSTINE, A. M., Ph.D. "Absolute Error or Absolute Uncertainty Definition." ThoughtCo, Aug. 28, 2020, [thoughtco.com/absolute-error-or-absolute-uncertainty-definition-604348](https://www.thoughtco.com/absolute-error-or-absolute-uncertainty-definition-604348).
- JANICKA, J.; BŁASZCZAK-BAK, W. Various scenarios of measurements using a smartphone with a LiDAR sensor in the context of integration with the TLS point cloud. **Reports on Geodesy**, v. 119, p. 14-22, 2025. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10929822/>
- LUETZENBURG, G., KROON, A. & BJØRK, A.A. Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in *Geosciences*. *Sci Rep* 11, 22221 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01763-9>
- MICELI, B. S. et al. Avaliação vertical de modelos digitais de elevação (MDEs) em diferentes configurações topográficas para médias e pequenas escalas. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 63, n. 1, p. 191-201, 2011.
- OLIVEIRA, A.; OLIVEIRA, T. A. *Elementos de estatística descritiva*. 2011.
- RABINOVICH, S. G. Measurement errors and uncertainties: theory and practice. *Springer Science & Business Media*, 2006.
- SANTOS, A. P. *Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais com o uso da estatística espacial*. Tese (Doutorado em Eng.Civil). Programa de Pós-Graduação em Eng.Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2010.
- SAWANDI, H. et al. Smartphones as 3D Mapping Tools: A Comparative Study of LiDAR and Photogrammetry Techniques. In: 9th International Conference of SLAcJ. Japan, 2026.
- SILVA, R. P. da; RODRIGUES, D. D. .; NERO, M. A.; SANTOS, A. de P. dos; ABREU, M. V. S. Avaliação da qualidade posicional da nuvem de pontos obtida a partir de Laser Scanner Terrestre (LST): Evaluation of positional quality of point clouds obtained by Terrestrial Laser Scanner (TLS). **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 284–297, 2024. DOI: 10.21680/2447-3359.2024v10n2ID36353. Disponível em: <https://periodicos.ufm.br/revistadoregne/article/view/36353>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- SULEYMANOGLU, B. et al. Road Infrastructure Mapping by Using iPhone 14 Pro: An Accuracy Assessment. The International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 48, p. 347-353, 2023.
- TOMCZAK, Karol et al. Estimating the volume of stacked wood using the dynamic conversion factor calculated by a lidar-based smartphone app. **International Journal of Forest Engineering**, p. 1-10, 2026. Disponível em: <https://doi.org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1080/14942119.2026.2620234>. Acesso em: 30 mar. 2026.